

CAMBIOS MORFOSEDIMENTARIOS CAUSADOS POR LA CONSTRUCCIÓN DE UN ESPIGÓN EN CAMET NORTE, PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA

Rubén A. MEDINA^{1,2}, Andrea L. MARTÍNEZ^{3,4}, Liliana MORMENEO^{5,6} y Sebastián M. RICHIANO^{4,7}

¹Dpto. de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. E-mail: medinaruben01@yahoo.com.ar

²Dpto. de Agrimensura, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires.

³IGeBA - Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

⁴Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

⁵Instituto de Geomorfología y Suelos, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata.

⁶Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires.

⁷Centro de Investigaciones Geológicas, La Plata.

RESUMEN

Se dan a conocer los diversos cambios morfoSEDIMENTARIOS que se produjeron en un sector de costa ubicado al norte de un espigón construido en Camet Norte (Buenos Aires) a fines del año 2011. Durante el período analizado (julio 2011-diciembre 2015) se observó en un punto de control ubicado a 200 m al norte de la estructura, aguas abajo respecto a la deriva litoral, que el nivel de arena en playa rara vez fue superior al valor registrado en julio de 2011, cuatro meses antes de la construcción de la obra. Lo contrario sucedió con otros tres puntos de control distantes a más de 1.275 m del nuevo espigón, en donde rara vez el nivel de arena fue inferior al observado en esa fecha (julio 2011). A su vez, a lo largo del año la granulometría de la arena correspondiente a la playa frontal del área monitoreada cercana a la obra, por lo general fue más gruesa respecto a los restantes puntos de control, indicando posiblemente una mayor energía de ola en ese sector de costa. El menor nivel de arena asociado a una mayor energía de ola en el sector próximo a la estructura, permitió probablemente la afluencia directa del embate de las mismas durante todo el período, reflejándose esto en un mayor retroceso del acantilado y sobre todo del microacantilado, con un total de 96 y 350 cm (22 y 79 cm/año), respectivamente. Estos retrocesos están asociados preferentemente a eventos de corta duración correspondientes a tormentas marítimas denominadas localmente “sudestadas”.

Palabras clave: *Erosión, Acantilados, Deriva litoral, Playas, Espigón.*

ABSTRACT

Morphosedimentary changes caused by the construction of a groin in Camet Norte, Buenos Aires province, Argentina

Our study shows several morphodynamic changes occurred along a coastal sector downstream of a groin built at Camet Norte locality (Buenos Aires province) by the end of 2011. During the time span analyzed (July 2011-December 2015), at a control site located 200 m north of the structure, downstream relative to the littoral drift, it was possible to observe that the sand level on the beach was seldom higher than that recorded in July 2011, four months before the groin was built. The opposite occurred in other three control sites placed more than 1,275 m far from the new groin, where the sand level was seldom lower than that observed in July 2011. In addition, along the whole year, the size of the sandy particles of the foreshore in the area localized near the structure was generally higher than that of the remaining control sites, suggesting stronger wave energy within the corresponding coastal sector. Most probably, within control site localized next to groin coastal sector a lower sandy level together with stronger wave energy allowed a direct influx and effect of the waves during the whole time span. This is reflected by a stronger retreat of the main cliff and especially the microcliff, with a total of 96 and 350 cm (22 and 79 cm/year), respectively. These retreats are linked mainly to short marine events locally known as “sudestadas”.

Keywords: *Erosion, Cliffs, Littoral drift, Beaches, Groin.*

INTRODUCCIÓN

Gran parte de las costas del mundo están en retroceso debido a causas naturales, muchas de ellas potenciadas en gran medida por efectos inducidos por el hombre

(Comisión Europea 2005, Hegde 2010). Entre las causas naturales se destacan la adaptación de las costas a las fluctuaciones holocenas del nivel del mar, con la consecuente formación de acantilados marinos (Kelletat 1995, Kokot 2004), los

procesos de erosión causados por el reajuste de las variables climáticas al actual proceso de calentamiento global, tal como se evidenció en bahía Samborombón (Codignotto *et al.* 2011a y b, 2012, Dragani *et al.* 2012), y fundamentalmente los

procesos erosivos ocasionados por las tormentas marítimas denominadas localmente “sudestadas” (Isla 1990, 1995, Marcomini y López 1997, Bértola *et al.* 2013). Entre los efectos provocados por la actividad antrópica se destaca el incremento en los ritmos de erosión causado por la interrupción de la deriva litoral mediante construcciones tales como espigones, escolleras y obras de defensa costera mal planificadas o no terminadas (Isla 2006, 2012, Mohanty *et al.* 2012, Bértola *et al.* 2013). Otro resultado de la actividad antrópica es la subsaturación de la deriva litoral provocada por la urbanización y excesiva fijación de médanos frontales (Bertoncello 1993, Isla *et al.* 1998, Juárez e Isla 1999) y por la extracción directa de arena de playa para construcción (Schnack *et al.* 1983, Isla y Fasano 1987, Farenaga *et al.* 1992, Marcomini y López 1997, 1999a). En tal sentido, se conocen con certeza los importantes procesos erosivos en la costa sudeste bonaerense que han sido provocados tras la construcción del puerto de Mar del Plata en las primeras décadas del siglo pasado. Las sucesivas construcciones de defensa costera, en especial los espigones en las playas céntricas de esa ciudad, construidos entre las décadas de 1920 y 1970, han permitido el entrampamiento local de arena y contrarrestado en gran medida los procesos erosivos en esas áreas. No obstante, la retención de arena producto de las obras mencionadas, ha incrementado notablemente la erosión en los sectores ubicados al norte de esas playas. Por tal razón, durante las décadas del '70, '80 y '90 del siglo XX, comenzaron a ejecutarse obras de defensa costera, en especial la construcción de espigones, en las localidades balnearias de Santa Clara del Mar, Mar de Cobo y balneario Parque Mar Chiquita, ubicadas al norte de Mar del Plata, y distantes a 20, 28 y 32 km respectivamente de dicha ciudad (Lagrange 1993). Estas obras, junto al reciente armado de dos escolleras necesarias para el tendido del emisario cloacal al norte del partido de General Pueyrredón, no han hecho más que acentuar la situación respecto a la erosión en las áreas costeras desprovistas

de tales medidas de defensa.

Hasta hace poco tiempo esta situación afectaba la totalidad del sector de Camet Norte, localidad ubicada inmediatamente al norte de Santa Clara del Mar, en el partido de Mar Chiquita, en donde tan solo recientemente se construyó una obra estructural de cierta magnitud, si bien totalmente insuficiente para proteger de la erosión el área comprendida por el balneario. En este trabajo se dan a conocer los diversos cambios morfosedimentarios que se produjeron en un sector de costa ubicado al norte del mencionado espigón en Camet Norte, luego de su construcción a fines del año 2011. Estos cambios, monitoreados desde la etapa previa a la construcción del mismo, ejemplifican probablemente a escala local lo acontecido a nivel regional tras la implementación de este tipo de obra estructural de defensa costera tan característica de la costa sudeste bonaerense.

Área de estudio y antecedentes geológicos

El balneario de Camet Norte se halla localizado en el partido de Mar Chiquita, a 21 km al norte de la ciudad de Mar del Plata y a la altura del km 494 de la ruta provincial 11, al sur de la ciudad de Buenos Aires (Fig. 1a).

Su costa es de carácter erosivo y está conformada por acantilados activos labrados en sedimentitas limosas, y en menor medida, limo-arenosas y gravosas, del Pleistoceno tardío y Holoceno. Estas sedimentitas son de origen continental, relativamente consolidadas y por sectores friables, de color castaño y verde, y con niveles indurados de tosca (Schnack *et al.* 1982, Fasano *et al.* 1984, Isla *et al.* 2015). Los acantilados poseen una altura de alrededor de 4 m, disminuyendo ésta hacia el norte a menos de 1,2 m en la localidad de Mar de Cobo, produciéndose un cambio importante de su altura en un sector ubicado aproximadamente a 200 m al noreste de la desembocadura del arroyo Seco en el mar (Fig. 1a). Los acantilados están coronados por médanos colgados de edad reciente, de hasta dos metros de altura, en general totalmente vegetados.

El nuevo espigón (37° 49'07,1'' S - 57° 29'01,8'' O) se encuentra en playa de la Virgen, localizada inmediatamente al norte del balneario de Camet Norte y al sur de la estancia San Manuel ubicada en Mar de Cobo (Fig. 1a). Es un espigón recto y perpendicular a la línea de costa, de aproximadamente 54 m de longitud, conformado por bloques irregulares de cuarcita. En la figura 1b se aprecia claramente la retención de arena producto de esta obra de defensa costera, en tanto que en la figura 1c se observa la falta de aquélla causada por la pérdida en la saturación de la deriva litoral aguas abajo de la construcción.

Otras obras de defensa costera localizadas en el balneario de Camet Norte, de menor envergadura, son los acorazamientos. Estas estructuras están conformadas por montículos de bloques irregulares de cuarcita ubicados al pie de los acantilados, con el propósito de intentar establecer un límite físico al retroceso por erosión de estos últimos, evitando así la pérdida material de edificaciones, especialmente el colapso de viviendas localizadas próximas al mar.

Respecto a la erosión, en el balneario Parque Mar Chiquita ubicado 10 km al norte de Camet Norte, se registró una tasa media de retroceso de 5,16 m/año en el período 1949-2007, según Merlotto y Bértola (2008, 2009). Este valor fue superior en la etapa previa a la construcción de las obras de defensa costera en el sector, registrándose un retroceso de 10 m/año en el período 1951-1983, según Lagrange (1993). En Santa Clara del Mar, localidad ubicada al sur y lindante con Camet Norte, se registró un importante período erosivo entre 1958 y 1975, cuya magnitud se incrementó de sur a norte desde 1,70 m/año hasta 5,80 m/año, registrándose esta última tasa de erosión en el límite con el área de estudio. Entre los años 1975 y 2009, las tasas de retroceso disminuyeron notablemente, desde 0 a 0,97 m/año, producto de la instalación de medidas de defensa costera en la zona (Bunicontro *et al.* 2013). En Camet Norte, a escasos metros al norte del límite con Santa Clara del Mar, se registró una tasa de retroceso continuo de 2,15 m/año, verifi-

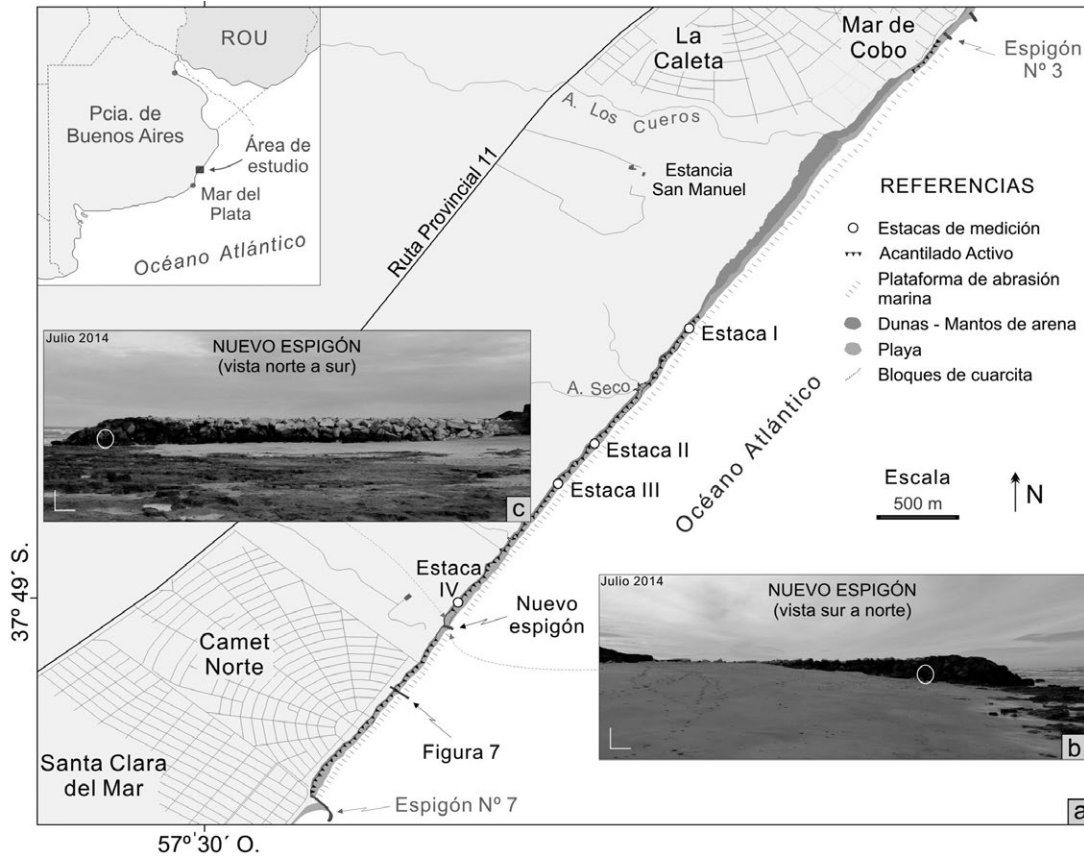


Figura 1: a) Ubicación del área de estudio, indicando el sector directamente afectado (estaca IV) y las áreas de control (estacas I a III). De acuerdo a la dirección y sentido de la deriva litoral de SO a NE, en b) se observa el entrapamiento de arena del lado sur del espigón y en c) la extracción de la misma del lado norte. En los círculos blancos de las fotografías se encuentra una persona como escala (las barras blancas equivalen a 2,5 m).

cándose una pérdida de más de 110 m de frente costero desde 1958 al 2009 (Bunicontró *et al.* 2013). Datos preliminares de retroceso costero para el sector comprendido entre Camet Norte y Mar de Cobo durante el período 1965-2012, arrojaron una tasa media de retroceso de 1,66 m/año, con valores máximos y mínimos de 2,33 y 1,13 m/año, respectivamente (Medina y Martínez 2014). Como se apreciará más adelante, es probable que estos valores estén subdimensionados debido a la dificultad de cuantificar los cambios en zonas no urbanizadas, al no contar con puntos fijos fácilmente discernibles en los estudios multitemporales llevados a cabo con fotografías aéreas e imágenes satelitales del área en cuestión.

Según el Servicio de Hidrografía Naval (2015), el sector presenta un régimen de marea micromareal mixto, preponderantemente semidiurno, con una pleamar máxima y media de 1,86 y 1,34 m, con una bajamar máxima y media de 0,18 y 0,51 m, y una amplitud de marea máxima y media de 1,55 y 0,83 m, respectivamen-

te (puerto patrón Mar del Plata). La deriva litoral es de sur a norte, si bien existen inversiones estacionales hacia el sur, especialmente durante los meses de verano (Fasano *et al.* 1982, Bértola y Pastorino 1998). De acuerdo a los datos aportados por distintos autores, en la costa sudeste bonaerense el promedio neto anual de material transportado por deriva de sur a norte varía de 200.000 a 1.500.000 m³/año, el cual depende fundamentalmente de la dirección dominante de olas y de las condiciones locales de la costa (Lanfredi 1989, Framiñan 1990, Caviglia *et al.* 1992). La velocidad de las corrientes litorales son del SO al NE, con valores que van de 0,30 a 0,50 m/s (Lanfredi *et al.* 1992), y los vientos más frecuentes son del N a 21 km/h, siendo las ráfagas más intensas del SE, S y SO, produciéndose los primeros generalmente en verano y parte de la primavera, y los segundos a comienzos de esta última estación, además de en otoño e invierno.

Trabajos geológicos y geomorfológicos previos en este sector, cuyos aportes

ya se mencionaron anteriormente, fueron llevados a cabo, entre otros, por Schnack *et al.* (1982, 1983), Fasano *et al.* (1982, 1984), Bértola *et al.* (2013), Bunicontró *et al.* (2013), Medina y Martínez (2014) e Isla *et al.* (2015). A su vez, datos preliminares sobre las modificaciones que se han producido tras la construcción del espigón en Camet Norte fueron presentados por Medina (2014, 2015a y b) y Medina y Martínez (2015).

MATERIALES Y MÉTODOS

A lo largo de más de cuatro años, desde julio de 2011 a diciembre de 2015, se realizaron mediciones trimestrales del retroceso del frente costero en cuatro puntos seleccionados al norte del nuevo espigón, ubicados a 200 m (estaca IV), a 1.300 m (estaca III), a 1.670 m (estaca II) y a 2.650 m (estaca I) del mismo (Fig. 1a). Las mediciones se realizaron entre el tope de una estaca hincada sobre la plataforma de abrasión y la pared del acantilado y del microacantilado o escarpa segunda-



Figura 2: Medidas tomadas en el campo acerca del retroceso del acantilado y del microacantilado o escarpa secundaria, dado por el incremento de la distancia X y la disminución de la distancia X' , respectivamente.

ria, estando esta última conformada por la base del acantilado propiamente dicho (Fig. 2). Esta base, al ser más indurada y poseer, por ende, una mayor resistencia a la erosión marina, retrocede en general en forma más lenta que el resto de la pared, manifestándose morfológicamente como una pequeña plataforma de abrasión marina levemente elevada. Asimismo, este retroceso diferencial se ve favorecido al estar el microacantilado o escarpa secundaria cubierto total o parcialmente por arena durante los meses de primavera y verano, evitando así la erosión por causa del embate directo de las olas durante ese período. Un procedimiento similar se empleó en bahía Samborombón con el fin de registrar el retroceso del microacantilado en esa zona (Codignotto *et al.* 2011a y b, 2012, Dragani *et al.* 2012). Se calculó también el nivel de arena en playa, midiendo la distancia vertical entre la base de cada estaca y la arena al pie del microacantilado o escarpa secundaria (Fig. 2).

Complementariamente se obtuvieron durante un año, de diciembre 2013 a diciembre 2014, cinco muestras sedimentológicas por estaca correspondientes a la playa frontal, recolectadas al pie del microa-

cantilado, contabilizando un total de 20 muestras. Para su estudio se emplearon técnicas de tamizado en seco a intervalos de 0,50 unidades Phi, con el propósito de obtener las respectivas distribuciones granulométricas por estaca y su posible variación a lo largo del año, ofreciendo este análisis información sobre la energía de ola en cada sector. Para el cálculo de los parámetros estadísticos se emplearon las fórmulas desarrolladas por Folk y Ward (1957). Las muestras se tomaron en los primeros 10 cm de arena en la base de cada microacantilado o escarpa secundaria, eliminando los primeros 10 mm a fin de evitar aportes eólicos recientes.

RESULTADOS

Se registró un retroceso del acantilado y microacantilado de 96 y 350 cm en la estaca IV, de 25 y 23 cm en la estaca III, de 23 y 64 cm en la estaca II y de 71 y 79 cm en la estaca I, respectivamente. Es decir, tanto el acantilado como el microacantilado de la estaca IV retrocedieron a un promedio de 22 y 79 cm/año, la estaca III lo hizo a 6 y 5 cm/año, la estaca II a 5 y 14 cm/año, y la estaca I a 18 y 20 cm/año, respectivamente. Pudo observarse ade-

más, sobre todo en la estaca IV en dónde se registraron los mayores retrocesos, que éstos se dieron por pulsos (Fig. 3), relacionados estos últimos generalmente con las tormenta marítima denominadas “sudestadas” y con niveles bajos de arena en playa (véase más adelante).

Respecto al nivel de arena en playa, en general se observó una mayor acumulación de arena durante los meses de primavera y verano y una mínima acumulación durante los meses de otoño e invierno, en coincidencia con los vientos más frecuentes del N durante la estación cálida, y las ráfagas más intensas del SO, S y SE durante la estación fría (Fig. 4). En las estacas I a III, durante el invierno el nivel de arena fue similar al período previo a la construcción del nuevo espigón (julio 2011), mientras que durante el verano el nivel estuvo entre 50 y 110 cm más alto respecto al período invernal. En cambio, en la estaca IV, durante el verano el nivel de arena fue relativamente similar al valor del invierno previo a la construcción del nuevo espigón (julio 2011), en tanto que durante el invierno estuvo algo más de un metro por debajo del nivel registrado en los meses estivales. Cabe destacar también que, en todo el período analiza-

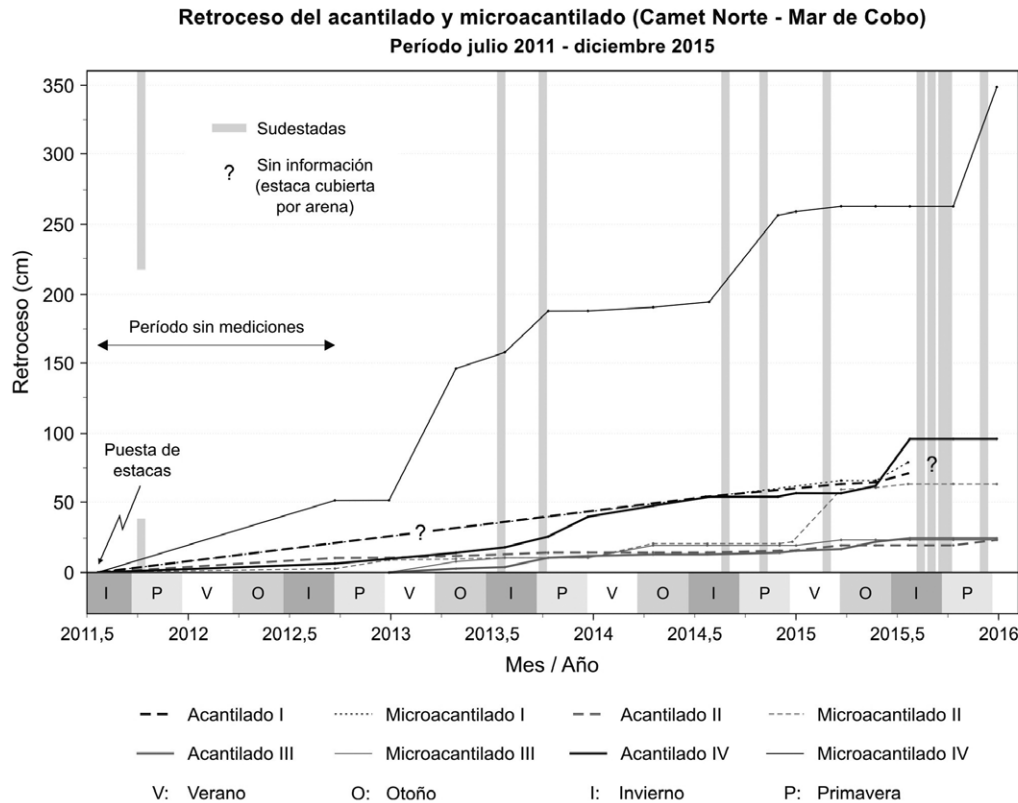


Figura 3: Retroceso del acantilado y microacantilado en cada una de las estacas. Durante el período de tiempo analizado, los máximos retrocesos del acantilado y sobre todo del microacantilado se registraron en la estaca más cercana al nuevo espigón (estaca IV). Se señalan también los eventos de tormentas marítimas denominadas localmente “sudestadas”.

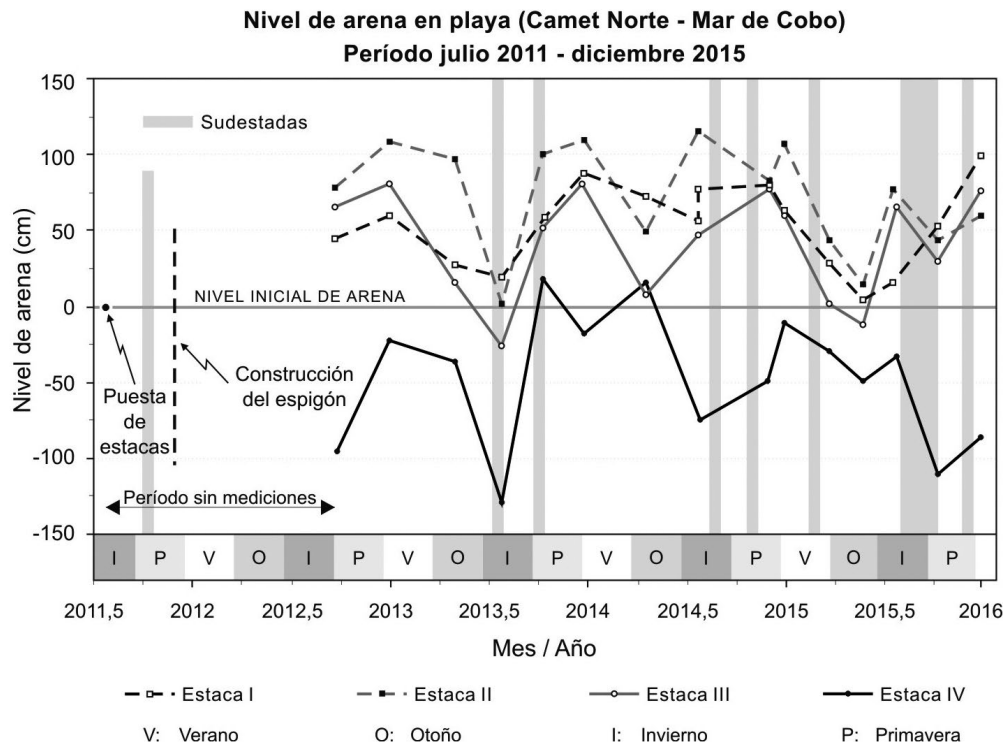


Figura 4: Nivel de arena en playa medido entre la base de cada estaca y la arena al pie del microacantilado o escarpa secundaria. Se observa que los máximos niveles de arena se registraron preferentemente durante los meses de primavera y verano, y que el nivel de arena en la estaca IV se mantuvo prácticamente por debajo del nivel inicial registrado previo a la construcción del espigón.

do, el nivel de arena en playa en las estacas I, II y III, rara vez fue inferior al registrado en julio de 2011, todo lo contrario a la estaca IV en donde rara vez fue superior a

ese valor (Fig. 4). Con relación a la granulometría, en las muestras analizadas se registró un tamaño medio de la arena de la playa frontal

que va de arena fina a mediana, encontrándose bien a pobremente seleccionada, con predominio de distribuciones asimétricas negativas. En las estacas III y IV

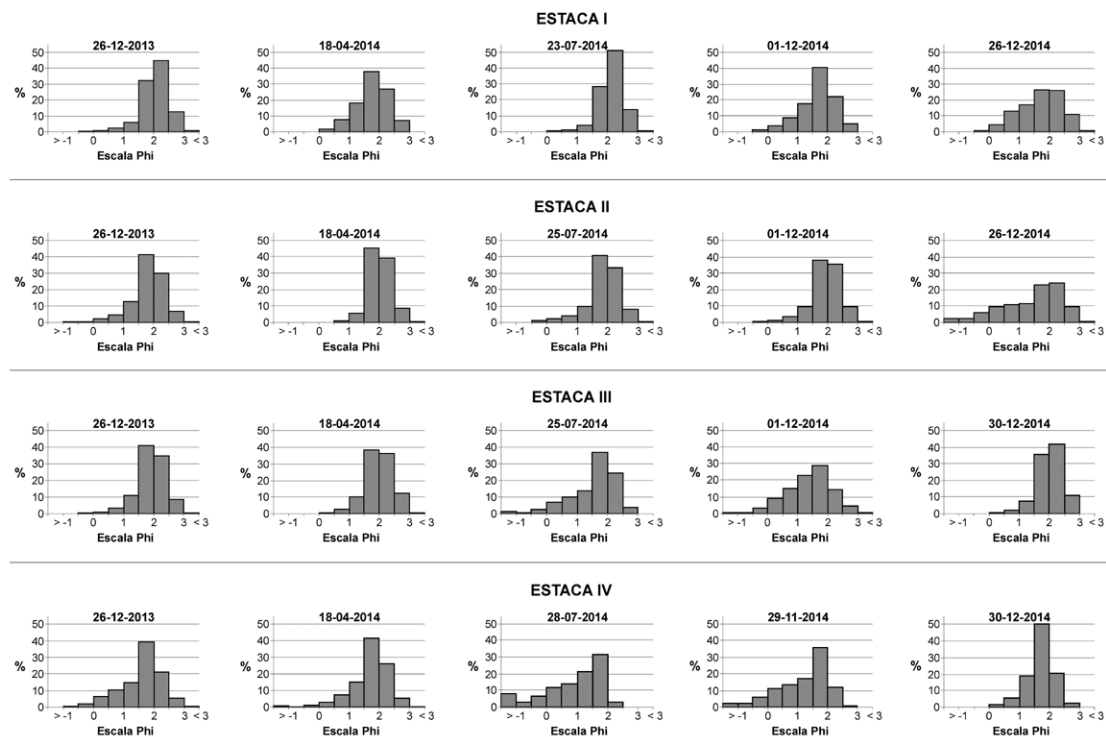


Figura 5: Análisis granulométrico de las muestras colectadas por estaca en playa frontal a lo largo de un año (diciembre 2013 a diciembre 2014). Puede observarse como en la estaca IV predominan las granulometrías más gruesas respecto a las demás sitios.

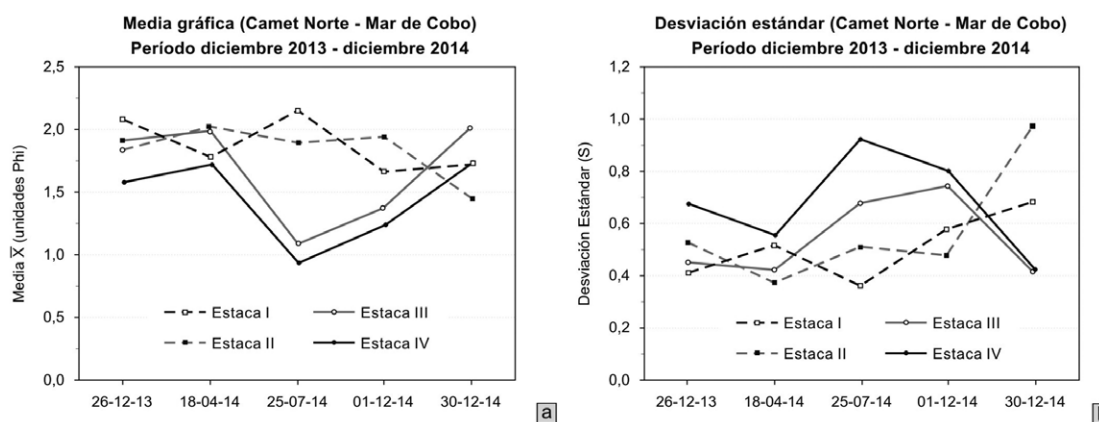


Figura 6: Valores de tamaño medio de grano (media) y desviación estándar (S) en las cuatro estacas a través del tiempo. En general, se observa a lo largo del año una mayor granulometría y desviación estándar en la estaca IV, vinculado a una mayor energía de ola en el sector.

se observó una granulometría más gruesa durante los meses de invierno respecto a los meses de verano, en coincidencia con el menor nivel de arena en playa en ese período. A su vez, a lo largo del año se registró, en general, una mayor granulometría y desviación estándar (S) en la estaca IV respecto a las demás, vinculado posiblemente a una mayor energía de ola en ese sector de costa (Figs. 5 y 6).

Si bien no forma parte del objetivo principal de este trabajo, cabe señalar que las velocidades de retroceso costero obtenidas para el sector comprendido entre Camet Norte y Mar de Cobo, menores a 1

m/año, fueron inferiores a las registradas durante el período 1965-2012, comprendidas entre 1,13 y 2,33 m/año, con una tasa media de 1,66 m/año. No obstante, es probable que estos valores estén subdimensionados, ya que en observaciones de campo se registraron retrocesos extraordinarios de alrededor de 10 m/año en dos salientes rocosas de más de 3 m de espesor localizadas, una a escasa distancia al sur del nuevo espigón, en el extremo norte del balneario de Camet Norte (Fig. 7), y otra inmediatamente al sur de la estaca IV, la cual desapareció con los últimos eventos de sudestada.

DISCUSIÓN

Si bien el área de estudio corresponde a una costa que está en retroceso por causas naturales, no caben dudas que estas últimas están potenciadas en gran medida por los efectos inducidos por la actividad del hombre (Schnack *et al.* 1983). A escala local, lo señalado para la estaca IV pone de manifiesto las consecuencias de dicha intervención en el medio natural. En este sentido, tal como se evidencia en la figura 1b, la construcción de un espigón perpendicular a la línea de cos-

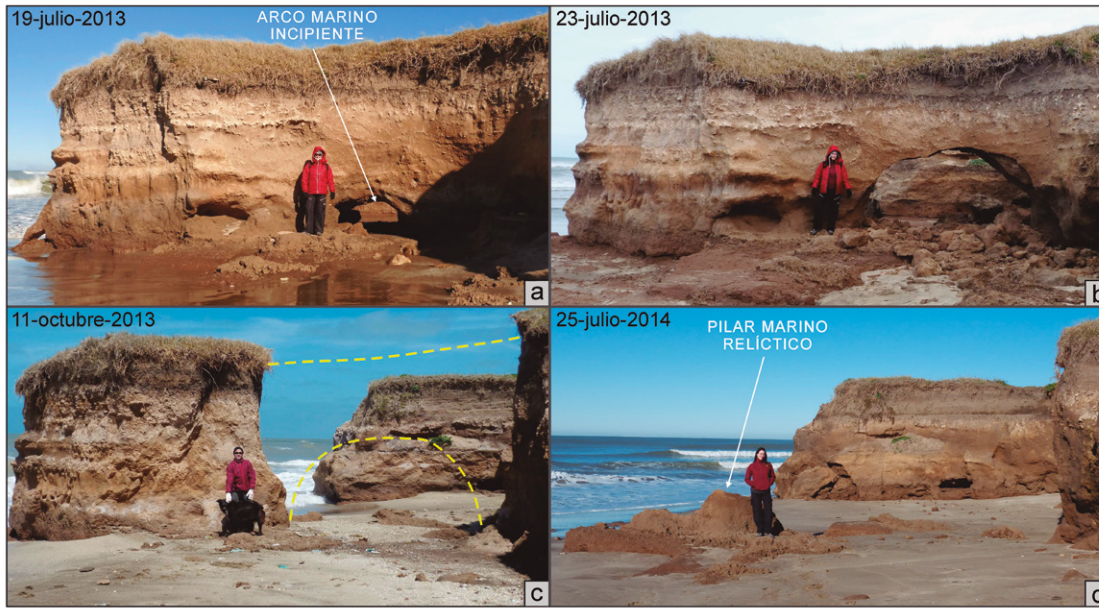


Figura 7: Rápidos cambios observados en el contorno costero de Camet Norte. Conformación en pocos días de un arco marino tras una sudestada de moderada intensidad (a y b), devenido en pilar marino en menos de dos meses y medio (c), y su prácticamente total desaparición en el lapso de un año (d). Durante ese período, la saliente rocosa de más de 3 m de espesor retrocedió alrededor de 10 metros. Para su ubicación remitirse al mapa de la figura 1.

ta actuó principalmente interrumpiendo la deriva litoral, produciendo la acumulación de sedimentos y el incremento del ancho de playa aguas arriba de la obra. El principal efecto adverso consistió en la pérdida de la saturación de la deriva litoral aguas abajo de la construcción, fundamentalmente por la retención de la arena antes señalada, y posiblemente por causa del aumento de la densidad de las corrientes de retorno (*rip currents*) y por tanto del transporte de sedimentos hacia el mar (Short 1992), tal como se ha evidenciado en las playas céntricas de la ciudad de Mar del Plata (Isla *et al.* 1994). Esto produjo una exposición más frecuente de la plataforma de abrasión marina aguas abajo de la estructura (Fig. 1c), asociado a un menor nivel de arena en playa en el sector, tal como se observó en la estaca IV durante todo el período analizado. Esta última, al encontrarse en el área de influencia del nuevo espigón, rara vez registró un nivel de arena en playa superior al observado previo a la construcción de la obra (Fig. 8). A su vez, el tamaño de grano y desviación estándar registrados en la arena de la playa frontal fue, por lo general, mayor al observado en las restantes estacas, las cuáles no están bajo la influencia directa de la estructura. La granulometría más gruesa y la mayor desviación estándar indicarían una mayor energía de ola

en la playa frontal de ese sector. Estos factores probablemente han permitido una afluencia directa del embate de olas durante todo el período analizado, en especial durante los eventos de tormentas marítimas denominadas “sudestadas”, reflejándose esto en un mayor retroceso de la línea de costa en el área (Fig. 8).

Otra característica que presenta el sector de la estaca IV es que el microacantilado, al quedar expuesto durante todo el año por el menor nivel de arena en la zona y recibir, por ende, el embate directo del oleaje durante todo el período analizado, retrocedió a una velocidad 3,5 veces mayor al acantilado (Fig. 8). Esto conllevará seguramente a la destrucción total de esa geoforma, siendo ésta la etapa previa al retroceso de la pared (acantilado más microacantilado) en su conjunto.

Por último, cabe remarcar que en los cuatro puntos de control (estacas), el retroceso del acantilado fue inferior al registrado en otros trabajos previos realizados en la zona (Bunicontro *et al.* 2013, Medina y Martínez 2014). Teniendo en cuenta que en el área se observaron retrocesos puntuales de más de 1 m (véase Fig. 3) y hasta de 10 m por año (véase Fig. 7), la discrepancia con esos trabajos pudo deberse no solo a un problema de cantidad de sitios de medición sino también a una cuestión temporal, pues aquéllos corresponden a

estudios multitemporales que abarcaron períodos de más de 40 años. Es decir, si se analizara un período de tiempo mayor, posiblemente aumentaría la probabilidad de que los eventos de rápido retroceso se sucedan en un determinado sector, incrementándose en consecuencia el promedio anual de retroceso de la línea de costa en esos lugares. De ser así, y de mantenerse el manejo costero actual (véase más adelante), por lo expuesto para la estaca IV es de esperar que en un futuro próximo dicho sector retroceda a una velocidad mayor al promedio registrado por otros autores para la región.

Propuestas de manejo costero

Los efectos erosivos registrados en el área podrían haberse evitado al poner en práctica otras medidas no estructurales de defensa costera, tales como la recarga artificial de playa (Dean 2005, Morán *et al.* 2007). Esta medida mitiga la erosión prevista y, al saturar de sedimentos las corrientes litorales, no traslada las consecuencias a los sectores ubicados aguas abajo respecto a la deriva litoral, como sí lo hizo la medida estructural analizada en el presente trabajo.

En el orden local, la arena requerida para la recarga artificial, que debe poseer las mismas características mineralógicas y de densidad y un tamaño relativamente si-

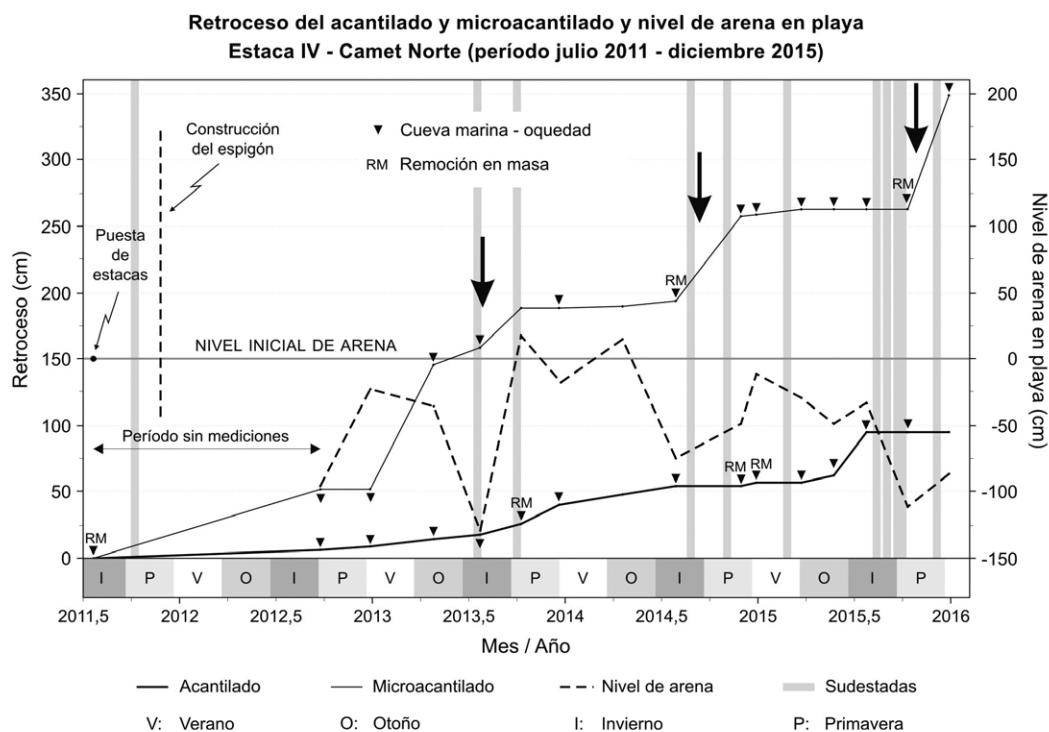


Figura 8: Relación entre los retrocesos del acantilado y microacantilado y nivel de arena en playa en la estaca IV. Con una flecha se señala la correspondencia entre el mayor retroceso del acantilado y sobre todo del microacantilado, el menor nivel de arena en playa y los eventos de tormentas marítimas ("sudestadas") registrados en el sector.

milar al sedimento original, podría obtenerse probablemente del sector sumergido, siempre a una profundidad mayor a la mitad de la longitud de onda del tren de olas, dado que a esa profundidad es mínimo el transporte litoral por deriva. En el orden regional, el abastecimiento podría provenir de las arenas que provocan los constantes embancamientos en la boca del puerto de Mar del Plata, tal como se hizo en el refulado hidráulico realizado entre noviembre de 1998 y abril de 1999, al extraer de allí alrededor de 2,5 millones de metros cúbicos de arena y volcarlas, mediante un sistema de cañerías, sobre las playas céntricas de esa ciudad (Marcomini y López 1999b).

Si bien el refulado hidráulico o relleno artificial de playa es una medida muy empleada en la actualidad, sobre todo en los países desarrollados (Trembanis y Pilkey 1998, Davis *et al.* 2000, Hamm *et al.* 2002), no hay que soslayar las contraindicaciones del método, en particular lo referido a los problemas ambientales. En este sentido, la succión de arena de las barras subáreas trae serios problemas de stress a la fauna bentónica, debido a los cambios en las propiedades físicas del agua, como la turbidez, además de provocar la mortan-

dad directa de la biota succionada (Greene 2002, Nairn *et al.* 2004). En tanto que la extracción de arena de la boca del puerto de Mar del Plata ha dispersado contaminantes, como aquéllos asociados a las pinturas anti-incrustantes empleadas en los cascos de los barcos, que liberan deliberada y progresivamente hacia el mar compuestos orgánicos biocidas como el tributílo-estaño, cuyos efectos indeseables incluye la imposición de caracteres secundarios masculinos sobre hembras de gasterópodos (Bigatti *et al.* 2011), imposibilitando su reproducción, fenómeno conocido como imposex (Blaber 1970, Smith 1971). En Mar del Plata, un alto grado de imposex fue encontrado por primera vez en dos especies de caracoles por Penchaszadeh *et al.* (2001) durante los últimos meses del año 2000, poco tiempo después del refulado en la zona.

Una variante del refulado hidráulico, al parecer más efectiva, lo constituye la tecnología de by pass de sedimentos (sand by passing), que consiste básicamente del traslado de arena de un lado al otro de la boca del puerto en forma controlada mediante un sistema de tuberías, proveyendo permanentemente de sedimentos a aquellas playas donde sea necesario impe-

dir la erosión. El sistema de by pass asegura la normalización de la deriva litoral y el mantenimiento del canal de acceso al puerto. Hace años que este sistema se emplea en Gold Coast Seaway, en Australia, y se encuentra en plena construcción en el Complejo Logístico e Industrial Farol - Barra do Furado, en el estado de Río de Janeiro, en Brasil (Surfrider Foundation Argentina 2013).

Es sabido que los manejos costeros varían de un área a otra debido a las particulares condiciones de cada sector de costa. No obstante, la solución al problema del incremento de la erosión en las costas del sudeste bonaerense debería partir, indeluctablemente, de un estudio multidisciplinario e integral del problema, en el cual intervengan ingenieros, geólogos, oceanógrafos, biólogos, entre otros, y en donde exista una voluntad política de llevar a cabo las medidas resultantes de dicho estudio, desalentando por tanto las medidas coyunturales de dudosa eficacia regional.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos aportan nuevos datos objetivos cuali-cuantitativos que ilustran las consecuencias que la acción

antropogénica produce en las áreas costeras, alterando los parámetros físicos del ambiente litoral y potenciando los procesos naturales prevalecientes en el sector. En Camet Norte, al contar con datos previos a la construcción del nuevo espigón pudo constatar que, una vez construido éste, decreció el nivel de arena en playa en el sector lindante a la estructura aguas abajo respecto a la deriva litoral. Comparando con otros sitios de control no ligados a la nueva estructura, se pudo determinar que ese menor nivel de arena en playa permitió posiblemente una afluencia directa del embate de olas y por ende un incremento de la energía del oleaje en el sector, reflejándose esto en la mayor granulometría de la arena en playa y especialmente en el mayor retroceso del acantilado y microacantilado de esa zona.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al editor temático Dr. Pablo Bouza, al revisor Dr. Alejandro J. Monti, al revisor anónimo, a la Dra. Marina L. Aguirre y al Dr. Roberto R. Kokot, cuyos comentarios, críticas y sugerencias han enriquecido notablemente lo expresado en el trabajo. Asimismo manifiestan su gratitud a la Sra. Ángela I. González por el apoyo logístico brindado en el campo.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Bértola, G.R. y Pastorino, S. 1998. Experiencias de trampas de sedimento en las playas de Pinamar. 5° Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses, Actas: 155-164, Mar del Plata.
- Bértola, G.R., Merlotto, A., Cortizo, L.C. e Isla, F.I. 2013. Playas de bolsillo en Mar Chiquita, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 70(2): 267-278.
- Bertoncello, R. 1993. Configuración socio-espacial de los balnearios del Partido de la Costa (provincia de Buenos Aires). Cuadernos de Territorios N° 5, Instituto de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, 93 p., Buenos Aires.
- Bigatti, G., Averbuj, A., Primost, M., Cledón, M., Zabala, S., Teso, S.V., Cumplido, M. y Penchaszadeh, P.E. 2011. Contaminación costera en la Argentina: compuestos órgano-estano-
- sos (TBT) y malformaciones sexuales (imposex) en caracoles marinos. En: López, R.A. y Marcomini, S.C. (eds.) Problemática de los ambientes costeros (sur de Brasil, Uruguay y Argentina), 161-178, Buenos Aires.
- Blaber, S.J.M. 1970. The occurrence of a penis-like outgrowth behind the right tentacle in spent females of *Nucella lapillus* (L.). *Proceedings of the Malacological Society of London* 39: 231-233.
- Bunicontro, M.P., Marcomini, S.C. y López, R.A. 2013. Zonificación de la erosión costera en la localidad de Santa Clara del Mar, provincia de Buenos Aires. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente* 31: 1-15.
- Caviglia, F.J., Pousa, J.L. y Lanfredi, N.W. 1992. Transporte de sedimentos: una alternativa de cálculo. 2° Congreso de Ciencias de la Tierra, Memorias: 413-422, Santiago, Chile.
- Codignotto, J.O., Dragani, W.C., Martin, P.B., Simionato, C.G. y Medina, R.A. 2011a. Incremento de erosión en la bahía Samborombón, Río de la Plata, Argentina. 18° Congreso Geológico Argentino, Actas: 262-263, Neuquén.
- Codignotto, J.O., Dragani, W.C., Martin, P.B., Campos, M.I., Alonso, G., Simionato, C.G. y Medina, R.A. 2011b. Erosión en la bahía Samborombón y cambios en la dirección de los vientos, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Museo Argentino Ciencias Naturales* 13(2): 135-138.
- Codignotto, J.O., Dragani, W.C., Martin, P.B., Simionato, C.G., Medina, R.A. y Alonso, G. 2012. Wind-wave climate change and increasing erosion in the outer Río de la Plata, Argentina. *Continental Shelf Research* 38: 110-116.
- Comisión Europea 2005. Vivir con la erosión costera en Europa - Sedimentos y espacio para la sostenibilidad. Oficina para las publicaciones oficiales de las Comunidades Europeas, 40 p., Luxemburgo.
- Davis, R.A., Wang, P. y Silverman, B.R. 2000. Comparison of the performance of three adjacent and differently constructed beach nourishment projects on the Gulf Peninsula of Florida. *Journal of Coastal Research* 16(2): 396-407.
- Dean, R.G. 2005. Beach nourishment: benefits, theory and case examples. En: Zimmermann, C., Dean, R.G., Penchev, V. y Verhagen, H.J. (eds.), *Environmentally friendly coastal protection* 53: 25-40, Varna.
- Dragani, W.C., Codignotto, J.O., Martin, P.B., Campos, M.I., Alonso, G., Simionato, C.G. y Medina, R.A. 2012. Some coastal impacts related to wind wave changes in the South-eastern South American Continental Shelf. En: Veress, B. y Szigethy, J. (eds.), *Nova Science Publishers. Serie Horizons in Earth Science Research* 6: 161-177, New York.
- Farenga, M.O., Adamini, R. e Isla, F.I. 1992. Recuperación de playas de intensa extracción de arena: Ensenada Mogotes, Mar del Plata, Argentina, 1987-1990. *Revista Thalassas* 10: 41-47.
- Fasano, J.L., Hernández, M.A., Isla, F.I. y Schnack, E.J. 1982. Aspectos evolutivos y ambientales de la albufera Mar Chiquita (provincia de Buenos Aires, Argentina). *Oceanologica Acta* 4: 285-292.
- Fasano, J.L., Isla, F.I. y Schnack, E.J. 1984. Significado paleoambiental de los depósitos del Pleistoceno Tardío de Camet Norte (partido de Mar Chiquita, provincia de Buenos Aires). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 39(3-4): 244-250.
- Folk, R.L. y Ward, W.C. 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 37(2): 514-521.
- Framiñan, M.B. 1990. Transporte de sedimentos en Pinamar, provincia de Buenos Aires. 2° Jornadas de Oceanografía Física y 16° Reunión Científica de Geofísica y Geodesia de la Asociación de Geofísicos y Geodestas, 15 p., Bahía Blanca.
- Greene, K. 2002. Beach nourishment: a review of the biological and physical impacts. Atlantic States Marine Fisheries Commission, Habitat Management Series .7, 174 p., Washington D.C.
- Hamm, L., Capobianco, M., Dette, H.H., Lechuga, A., Spanhoff, R. y Stive, M.J.F. 2002. A summary of european experience with shore nourishment. *Coastal Engineering* 47(2): 237-264.
- Hegde, A.V. 2010. Coastal erosion and mitigation methods - Global state of art. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences* 39(4): 521-530.
- Isla, F.I. 1990. Tendencias litorales y transversales de transporte en playas y boca de marea: Mar Chiquita, Buenos Aires. *Revista de la Asociación Argentina de Mineralogía, Petrología y Sedimentología* 21(1/4): 75-87.
- Isla, F.I. 1995. Efectos de tormentas sudestadas en el litoral bonaerense durante 1993, Argen-

- tina. 5° Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar, Actas: 111, Mar del Plata.
- Isla, F.I. 2006. Erosión y defensas costeras. En Isla, F.I. y Lasta, C.A. (eds.) Manual de manejo costero para la provincia de Buenos Aires, EUEM, 125-147, Mar del Plata.
- Isla, F.I. 2012. Los impactos de una defensa costera mal terminada. Surfrider Foundation Argentina (05-11-2012). Disponible en <http://www.surfrider.org.ar/actualidad/los-impactos-de-una-defensa-costera-mal-terminada/>, último acceso 27 de noviembre de 2015.
- Isla, F.I. y Fasano, J.L. 1987. Arenas litorales de la provincia de Buenos Aires: recurso minero o recurso ambiental. 10° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 79-82, San Miguel de Tucumán.
- Isla, F.I., Witkin, G., Bértola, G.R. y Farenga, M.O. 1994. Variaciones morfológicas decenales (1983-1993) de las playas de Mar del Plata. Revista de la Asociación Geológica Argentina 49(3-4): 359-364.
- Isla, F.I., Bértola, G.R., Farenga, M.O., Serra, S.B. y Cortizo, L.C. 1998. Villa Gesell: un desequilibrio sedimentario inducido por fijaciones de médanos. Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología 5(1): 41-51.
- Isla, F.I., Taglioretti, M.L. y Dondas, A.P. 2015. Revisión y nuevos aportes sobre la estratigrafía y sedimentología de los acantilados entre Mar de Cobo y Miramar, provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina 72(2): 235-250.
- Juárez, V. e Isla, F.I. 1999. Evolución histórica del núcleo urbano de Villa Gesell. Revista Geográfica 125: 49-60.
- Kellett, D.H. 1995. Atlas of coastal geomorphology and zonality. Journal of Coastal Research, Special Issue 13, 286 p.
- Kokot, R.R. 2004. Erosión en la costa patagónica por cambio climático. Revista de la Asociación Geológica Argentina 59(4): 715-726.
- Lagrange, A.A. 1993. Mar, playas y puerto. Fundación Bolsa de Comercio de Mar del Plata, 574 p., Mar del Plata.
- Lanfredi, N.W. 1989. La erosión costera. Boletín Informativo Techint 258: 7-36.
- Lanfredi, N.W., Pousa, J.L., Mazio, C.A. y Dragani, W.C. 1992. Wave-power potencial along the coast of the province of Buenos Aires, Argentina. Energy 17(11): 997-1006.
- Marcomini, S.C. y López, R.A. 1997. Influencia de la urbanización en la dinámica costera, Villa Gesell, provincia de Buenos Aires, República Argentina. Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología 4(2): 79-96.
- Marcomini, S.C. y López, R.A. 1999a. Alteración de la dinámica costera por efecto de la explotación de arena de playa, partidos de General Alvarado y Lobería, provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología 6(1-2): 1-18.
- Marcomini, S.C. y López, R.A. 1999b. Recarga artificial de las playas. Revista Gerencia Ambiental 6(56): 408-414.
- Medina, R.A. 2014. Protección costera y sus consecuencias en un área comprendida al norte del balneario de Camet Norte, provincia de Buenos Aires, Argentina. 1° Jornadas de Geociencias para la Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Actas: 24, Buenos Aires.
- Medina, R.A. 2015a. Cuantificación de la erosión inducida por la construcción de un espigón en Camet Norte, provincia de Buenos Aires, Argentina. 6° Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, Actas: 245-246, Ushuaia.
- Medina, R.A. 2015b. Consecuencias de las defensas costeras en las playas bonaerenses: el caso de Camet Norte. 1° Jornadas Bonaerenses sobre Conservación de Ambientes y Patrimonio Costero, Actas: 34, Monte Hermoso, Buenos Aires.
- Medina, R.A. y Martínez, A.L. 2014. Erosión de la línea de costa entre Camet Norte y Mar de Cobo, provincia de Buenos Aires, Argentina. 19° Congreso Geológico Argentino, Actas: S12-31, Córdoba.
- Medina, R.A. y Martínez, A.L. 2015. Cuantificación de la erosión inducida por la construcción de un espigón en Camet Norte, provincia de Buenos Aires, Argentina. 11° Simposio de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente, Actas en CD, Buenos Aires.
- Merlotto, A. y Bértola, G.R. 2008. Evolución urbana y su influencia en la erosión costera en el balneario Parque Mar Chiquita, Argentina. Papeles de Geografía 47-48: 143-158.
- Merlotto, A. y Bértola, G.R. 2009. Coastline evolution at Balneario Parque Mar Chiquita, Argentina. Ciencias Marinas 35(3): 271-286, Ensenada, México.
- Mohanty, P.K., Patra, S.K., Bramha, S., Seth, B., Pradhan, U., Behera, B., Mishra, P. y Panda, U.S. 2012. Impact of groins on beach morphology: a case study near Gopalpur Port, east coast of India. Journal of Coastal Research 28(1): 132-142.
- Morán, D.K., Paulo Salles, A. de A., Sánchez, J.C. y Espinal, J.C. 2007. Beach nourishment evolution in the Cancún beach, Quintana Roo, México. Coastal Sediments 07: 2279-2291.
- Nairn, R., Johnson, J.A., Hardin, D. y Michel, J. 2004. A biological and physical monitoring program to evaluate long-term impacts from sand dredging operations in the United States Outer Continental Shelf. Journal of Coastal Research 20(1): 126-137.
- Penchaszadeh, P.E., Averbuj, A. y Cledón, M. 2001. Imposax in gastropods from Argentina (South-West Atlantic). Marine Pollution Bulletin 42(9): 790-791.
- Schnack, E.J., Fasano, J.L. e Isla, F.I. 1982. The evolution of Mar Chiquita lagoon, Province of Buenos Aires, Argentina. En Colquhoun, D.J. (ed.) Holocene Sea Level Fluctuations: Magnitudes and Causes. IGCP-61, University of South Carolina (inédito), 143-155, Columbia.
- Schnack, E.J., Álvarez, J.R. y Cionchi, J.L. 1983. El carácter erosivo de la línea de costa entre Mar Chiquita y Miramar, provincia de Buenos Aires. Simposio Oscilaciones del Nivel del Mar durante el Último Hemisiclo Deglaciar en la Argentina, Actas 118-130, Mar del Plata.
- Servicio de Hidrografía Naval. 2015. Tablas de marea. Disponible en <http://www.hidro.gov.ar/oceanografia/tmareas>, último acceso 5 de enero de 2015.
- Short, A. 1992. Beach systems of the central Netherlands coast: processes, morphology and structural impacts in a storm driven multi-bar system. Marine Geology 107: 103-137.
- Smith, B.S. 1971. Sexuality in the American mud snail, Nassarius obsoletus Say. Proceedings of the Malacological Society of London 39: 377-378.
- Surfrider Foundation Argentina. 2013. Sand by passing controlado. Disponible en <http://www.surfrider.org.ar/sand-by-passing-controlado>, último acceso 7 de febrero de 2015.
- Trembanis, A.C. y Pilkey, O.H. 2000. Summary of beach nourishment along the U. S. Gulf of Mexico shoreline. Journal of Coastal Research 14(2): 407-417.

Recibido: 11 de agosto, 2015

Aceptado: 10 de marzo, 2016